PART6 さまざまな恒星の一生

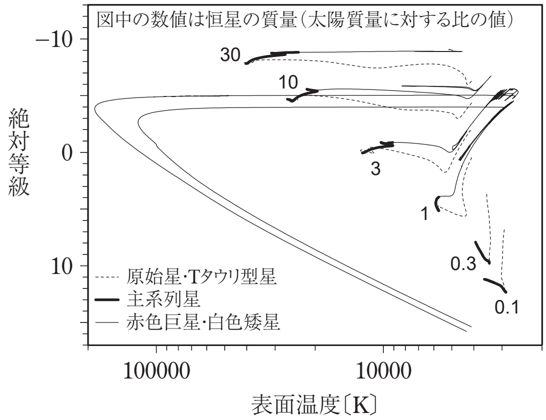
目標　さまざまな質量の恒星の一生について，各段階の名称を挙げて説明できる。

Chapter1　さまざまな恒星の一生

恒星には，さまざまな質量のものがあります。ここでは，恒星の一生が質量によってどのように異なるのかについて学びましょう。

恒星の進化の概要

・HR 図上での進化経路



小〜中質量星〔太陽質量の0.5倍〜8倍程度の恒星〕

・進化の順序とその時間スケール

原始星・T タウリ型星……（10^4 年 / 10^7 年 / 10^{10} 年）程度

→主系列星……………………（10^4 年 / 10^7 年 / 10^{10} 年）程度

→赤色巨星……………………（10^6 年 / 10^9 年 / 10^{12} 年）程度

→白色矮星 ……………………10^{10} 年以上

特に質量の小さな星〔太陽質量の0.5倍程度より軽い恒星〕

・進化の順序とその時間スケール

原始星・T タウリ型星……（10^6 年 / 10^9 年 / 10^{12} 年）程度

→主系列星……………………（10^6 年 / 10^9 年 / 10^{12} 年）程度

→白色矮星 ……………………10^{10} 年以上

知っておこう

太陽の質量は，しばしば単に「太陽質量」と表されます。

知っておこう

1961 年，日本の林忠四郎は，重力によって収縮している原始星〔T タウリ型星〕が HR 図上で上から下に向かって移動することを理論的に示しました。HR 図上でのこの移動経路を林トラックといい，この進化段階を林フェイズと呼びます。

知っておこう

各段階の時間スケールは，あくまで目安です。恒星の質量や元素組成などによって ± 1 桁程度は異なるので，数値を細かく覚えるのではなく，各段階の時間スケールの大小関係に着目してください。

大質量星〔太陽質量の8倍程度より重い恒星〕

・**超新星爆発**

恒星全体の爆発によって突然明るく輝く天体を**超新星**という。

超新星の成因の 1 つは大質量星が進化末期に起こす爆発現象であり，これを**超新星爆発**という。

・**中性子星とブラックホール**

大質量星が超新星爆発を起こすと，その中心部には高密度の天体が残される。そのうち中性子を主成分とする天体を**中性子星**といい，さらに高密度で光さえも脱出できない天体を**ブラックホール**という。

・**進化の順序とその時間スケール**

原始星………（10^4 年 / 10^7 年 / 10^{10} 年）程度
→主系列星……（10^4 年 / 10^7 年 / 10^{10} 年）程度
→赤色巨星……（10^6 年 / 10^9 年 / 10^{12} 年）程度
→超新星爆発
→中性子星またはブラックホール

知っておこう

大質量星は，赤色巨星内部の核融合により C や O に加えて Si, Mg, Fe といった重い元素を生成します。さらに，超新星爆発の際にも多くの重い元素が生成されるため，超新星爆発は宇宙の化学進化（化学組成の変化）に大きな影響を与えています。

知っておこう

大まかに言えば，質量の比較的小さな恒星が中性子星になり，質量の特に大きな恒星がブラックホールになります。

ただし，大質量星が最終的に中性子星となるかブラックホールとなるかには，質量だけでなく元素組成も影響していると考えられています。

まとめ

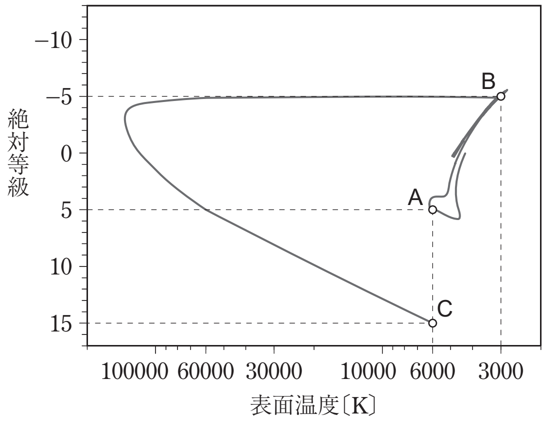
・小〜中質量星は，原始星や T タウリ型星から主系列星を経て赤色巨星へと進化し，________となって冷えていく。
・恒星全体の爆発によって突然明るく輝く天体を________という。
・大質量星は，赤色巨星の段階のあとに____________を起こし，__________または__________________となる。

知っておこう

大質量星は進化が非常に速く，原始星のまわりの星間ガスが晴れた頃には既に水素の核融合を開始しています。そのため，星間ガスが晴れているが核融合は始まっていない，という T タウリ型星の段階は存在しないと考えられています。

Chapter2　演習問題

次の図は，恒星の進化経路を模式的に表したものです。ここでは，この図に関連してさまざまな恒星の性質について確認しましょう。



問題(1)　上の図について述べた次の文章中の空欄［　ア　］～［　オ　］に入る数値を答えましょう。また，（　　）について，正しいものを選びましょう。ただし，空欄に入る値が 1 より小さい場合は分数で答えましょう。また，A の半径は太陽の半径と同じだとします。

主系列星 A が赤色巨星 B へと進化したとき，シュテファン・ボルツマンの法則によると，単位面積あたりの放射エネルギーは［　ア　］倍になっている。光度が［　イ　］倍になっていることとあわせると，B の表面積は A の表面積の［　ウ　］倍であり，B の半径は A の半径の［　エ　］倍だと推定される。太陽の半径を 70 万 km とすると，B の半径はおよそ（0.2 / 2 / 20）天文単位である。

また，赤色巨星 B が白色矮星 C になったときについても同じように考えると，C の半径は A の半径の［　オ　］倍と推定される。つまり，C の半径は（地球の 10 分の 1 程度 / 地球と同程度 / 地球の 10 倍程度）である。

ここがPOINT

絶対等級が 5 等級異なると，光度は 100 倍異なります。
　また，表面積は半径の 2 乗に比例します。

問題⑵　白色矮星について述べた次の文章中の（　　）について，正しいものを選びましょう。

　問題⑴の結果にしたがうと，主系列星 **A** が白色矮星 **C** になったとき，体積は元のおよそ（100 ／ 1 万 ／ 100 万）分の 1 になる。**A** の平均密度が太陽と同じ約（0.14 ／ 1.4 ／ 14）g/cm^3 であるとすると，白色矮星 **C** の平均密度はおよそ（10^3 ／ 10^6 ／ 10^9）g/cm^3 と推定できる。

問題⑶　中性子星について述べた次の文章中の（　　）について，正しいものを選びましょう。

　大質量星は恒星風によって質量を失うほか，超新星爆発でも質量の大部分を失う。そのため，中性子星の質量は元の恒星の質量より小さく，太陽質量の 1.5 倍～ 2 倍程度だとされている。また，中性子星の半径は 12km 程度であり，これは太陽の半径の約（600 ／ 60000）分の 1 である。太陽の平均密度が約（0.14 ／ 1.4 ／ 14）g/cm^3 であることもあわせると，中性子星の平均密度はおよそ（5×10^8 ／ 5×10^{14}）g/cm^3 と推定できる。この値は，原子核の密度と同程度である。

知っておこう

太陽が放出するプラズマの流れを太陽風と呼ぶのと同様に，恒星が放出するプラズマの流れを恒星風と呼びます。

第 20 講　PART6　確認問題

問１　次の文章を読み，下の問いに答えよ。

太陽の（　ア　）倍程度より重い大質量星が，その進化の末期に a 超新星爆発を起こすと，中心部に高密度の天体が残される。そのうち，中性子を主成分とする天体を（　イ　），さらに高密度で光さえも脱出できない天体を（　ウ　）という。

(1)　空欄アに入る数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　2　　②　8　　③　20　　④　100

(2)　下線部 a について，超新星爆発は恒星の進化のどの段階で起こるか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　原始星　　②　白色矮星
③　赤色巨星　　④　中性子星

(3)　空欄イ，ウに入る語句の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　イ：超新星　　ウ：ブラックホール
②　イ：超新星　　ウ：中性子星
③　イ：中性子星　　ウ：ブラックホール
④　イ：中性子星　　ウ：超新星

< Note >

第 20 講　恒星

PART1　天体の等級

問題(1)　ア：$\frac{1}{100}$　イ：n　ウ：$\frac{m}{5}$

問題(2)　エ：2　オ：$\left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2$

問題(3)　カ：10　キ：$\frac{m-M}{5}$　ク：$\left(\frac{10}{d}\right)^2$　ケ：5　コ：5

PART2　恒星のスペクトル型

問題(1)　絶対温度，反比例，ウィーンの変位則，高く，低い，大気，Hα線，水素原子，高い

問題(2)　フラウンホーファー線

問題(3)　G 型

PART3　HR 図

問題(1)　ア：σT^4　イ：$4\pi R^2$　ウ：$4\pi\sigma T^4R^2$　エ：$4\pi\sigma T_S^4 R_S^2$　オ：4　カ：2

問題(2)　【※図参照】

問題(3)　大きい，M 型，0.01 倍，大きい

PART4　主系列星の質量と寿命

問題(1)　比例，反比例

ア：M　イ：L　ウ：M_S　エ：L_S　オ：$\frac{M}{M_S}$　カ：$\frac{L}{L_S}$

問題(2)　キ：4

問題(3)　100，10000，10，1000 万，10，3000 億

PART5　太陽質量の恒星の一生

問題(1)　ア：4　イ：2　ウ：2　エ：4　オ：3　カ：7

問題(2)　キ：−3　ク：10

PART6　さまざまな恒星の一生

問題(1)　ア：$\frac{1}{16}$　イ：10000　ウ：160000　エ：400
2
オ：$\frac{1}{100}$
地球と同程度

問題(2)　100 万分の 1，1.4，10^6

問題(3)　60000，1.4，5×10^{14}

PART7　星団

問題(1)　暗く，低い，大きく，短い，大きな，種族Ⅱ，星団 X

問題(2)　散開星団，散光星雲，球状星団，星団 Y，星団 X

PART8　連星

問題(1)　15

問題(2)　第 3 法則，2.0
ア：3.2　イ：1.4　ウ：0.6

第 20 講　PART6　確認問題　解答

問 1

(1)　②

解説：
太陽の８倍程度より重い恒星は，進化の末期に超新星爆発を起こす。

(2)　③

解説：
大質量星は赤色巨星となり，自らの重力でつぶれて大爆発を起こす。

(3)　③

解説：
大質量星が超新星爆発を起こした後に中心部に残された高密度の天体のうち，中性子を主成分とする天体を中性子星といい，さらに高密度で光さえも脱出できない天体をブラックホールという。